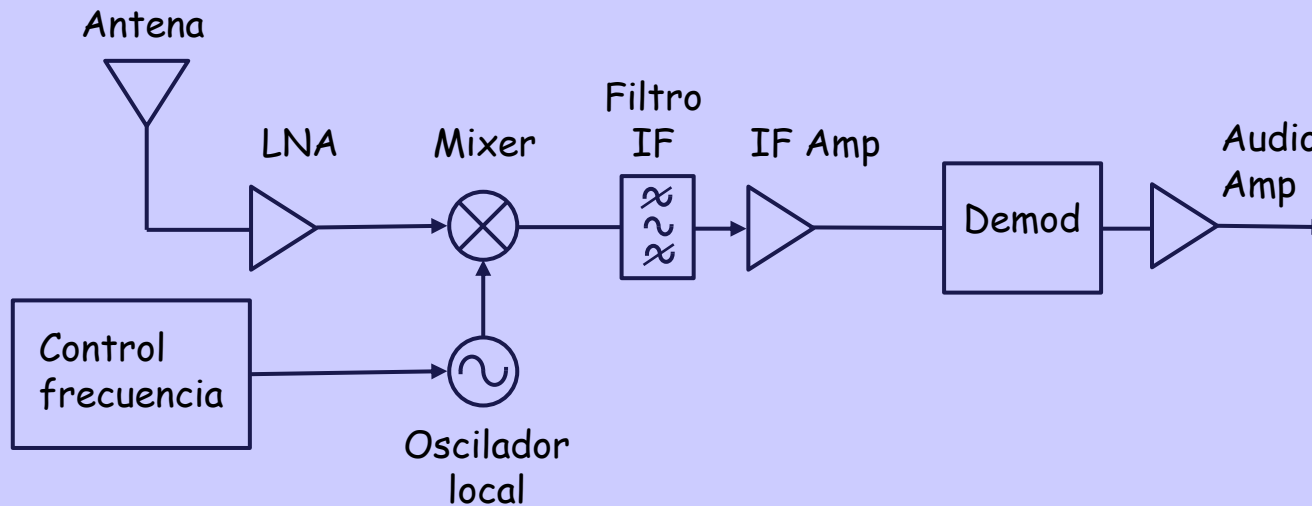


## 2. ARQUITECTURAS DE RECEPTORES Y TRANSMISORES RF

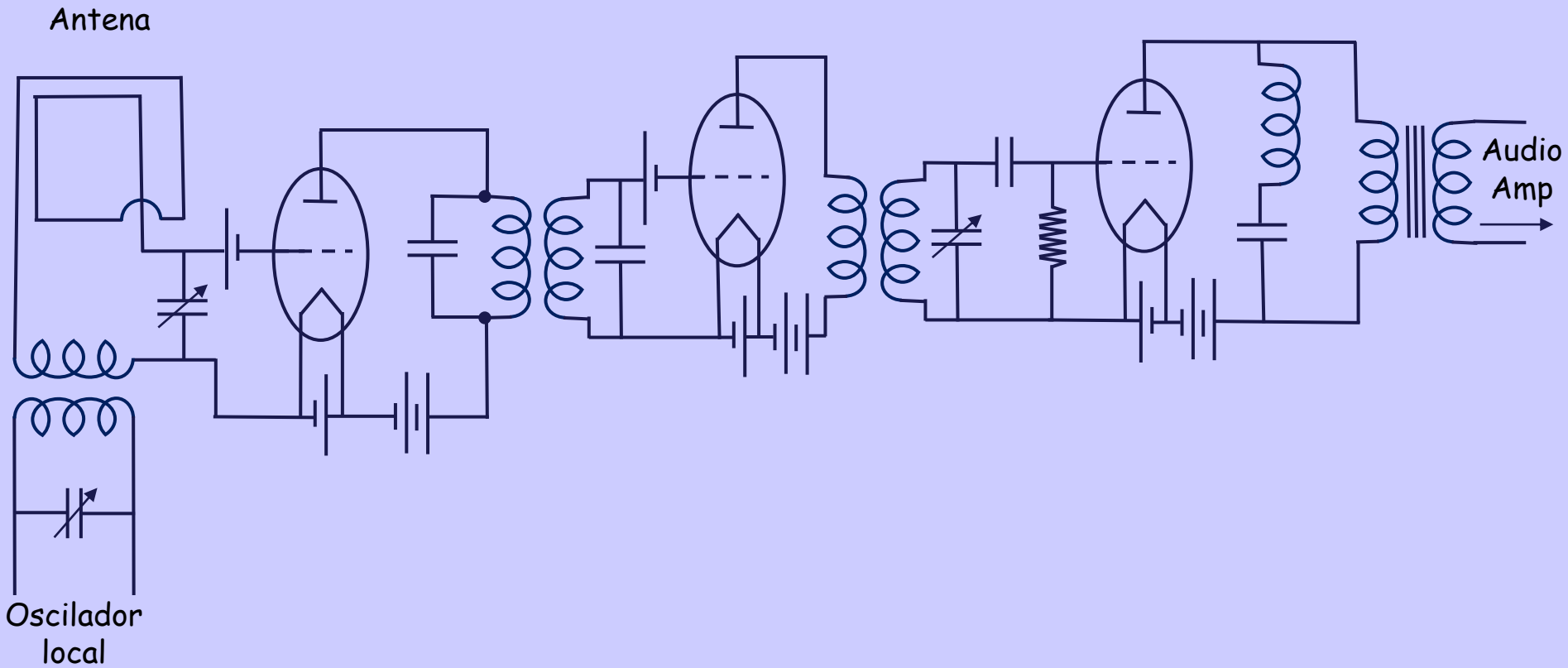
### 2.1 Receptor superheterodino

Esquema moderno receptor superheterodino



## 2.1 Receptor superheterodino

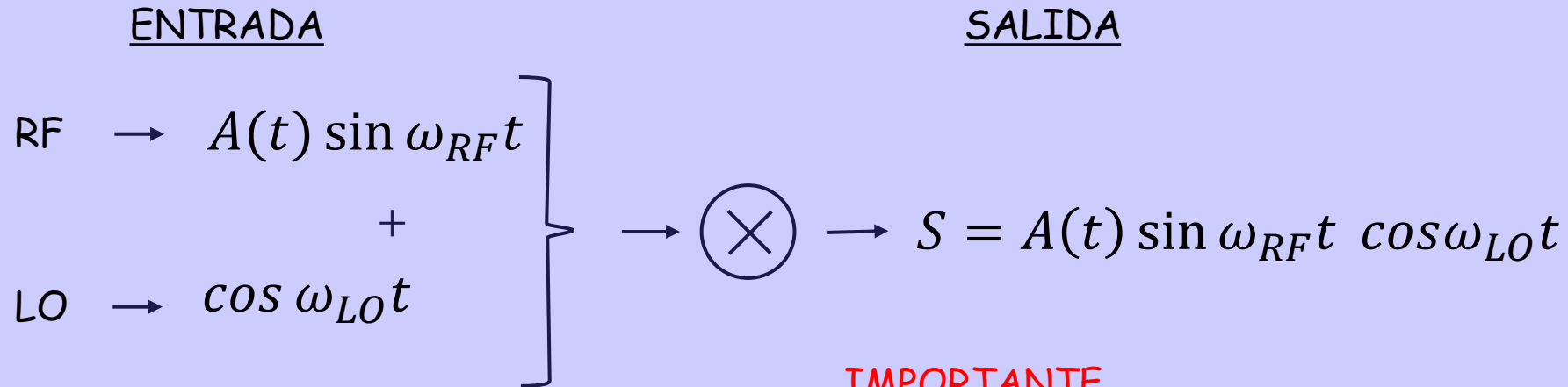
Esquema de Armstrong



## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ El "Mixer" es el elemento fundamental del receptor superheterodino. Permite hacer el producto "Analógico" de dos señales eléctricas (no necesariamente sinusoidales).
  
- ◆ En el esquema de Armstrong no hay ningún "Mixer". La función de multiplicación de señales la hace el propio Audión o Triodo (distorsión armónica de 2º orden).

## 2.1 Receptor superheterodino



IMPORTANTE

Valor absoluto

$$S = \underbrace{\frac{A(t)}{2} \sin(|\omega_{RF} - \omega_{LO}|)t}_{\text{Término de frecuencia intermedia IF}} + \frac{A(t)}{2} \sin(\omega_{RF} + \omega_{LO})t$$

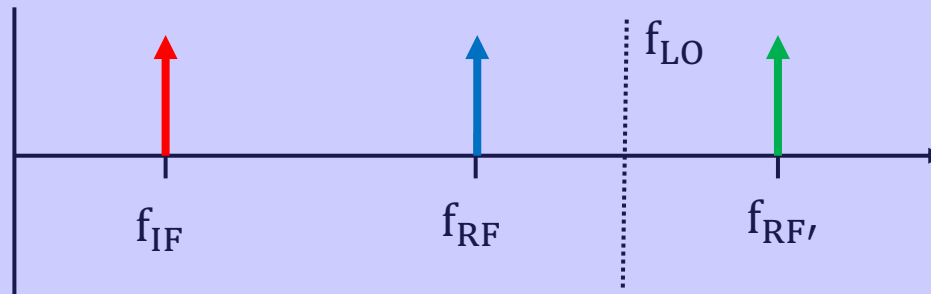
Término de frecuencia  
intermedia IF

## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ La arquitectura del receptor superheterodino presenta grandes ventajas en comparación con el receptor sintonizado.
  - La sintonización se realiza con un oscilador local de referencia y no variando las frecuencias de sintonización de cada filtro de cada etapa del receptor sintonizado,
  - La frecuencia IF es fija → tratamiento más simple desde la traslación en frecuencia.
  
- ◆ No obstante también presenta inconvenientes:
  - Eliminación de la frecuencia imagen.

## 2.1 Receptor superheterodino

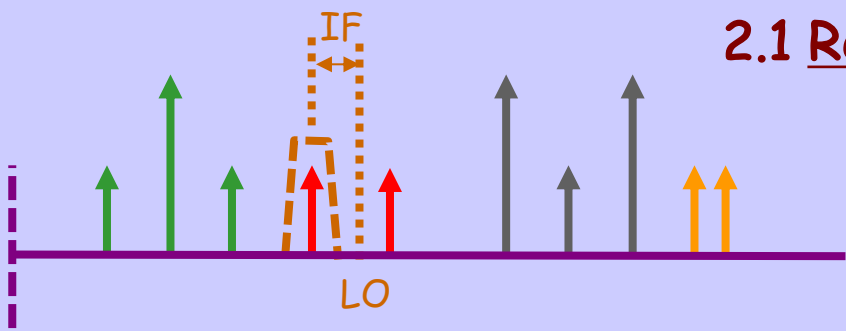
- Para una misma frecuencia de sintonización del oscilador local LO existen dos frecuencias de la señal recibida RF y RF' que se trasladan a la misma frecuencia intermedia IF.



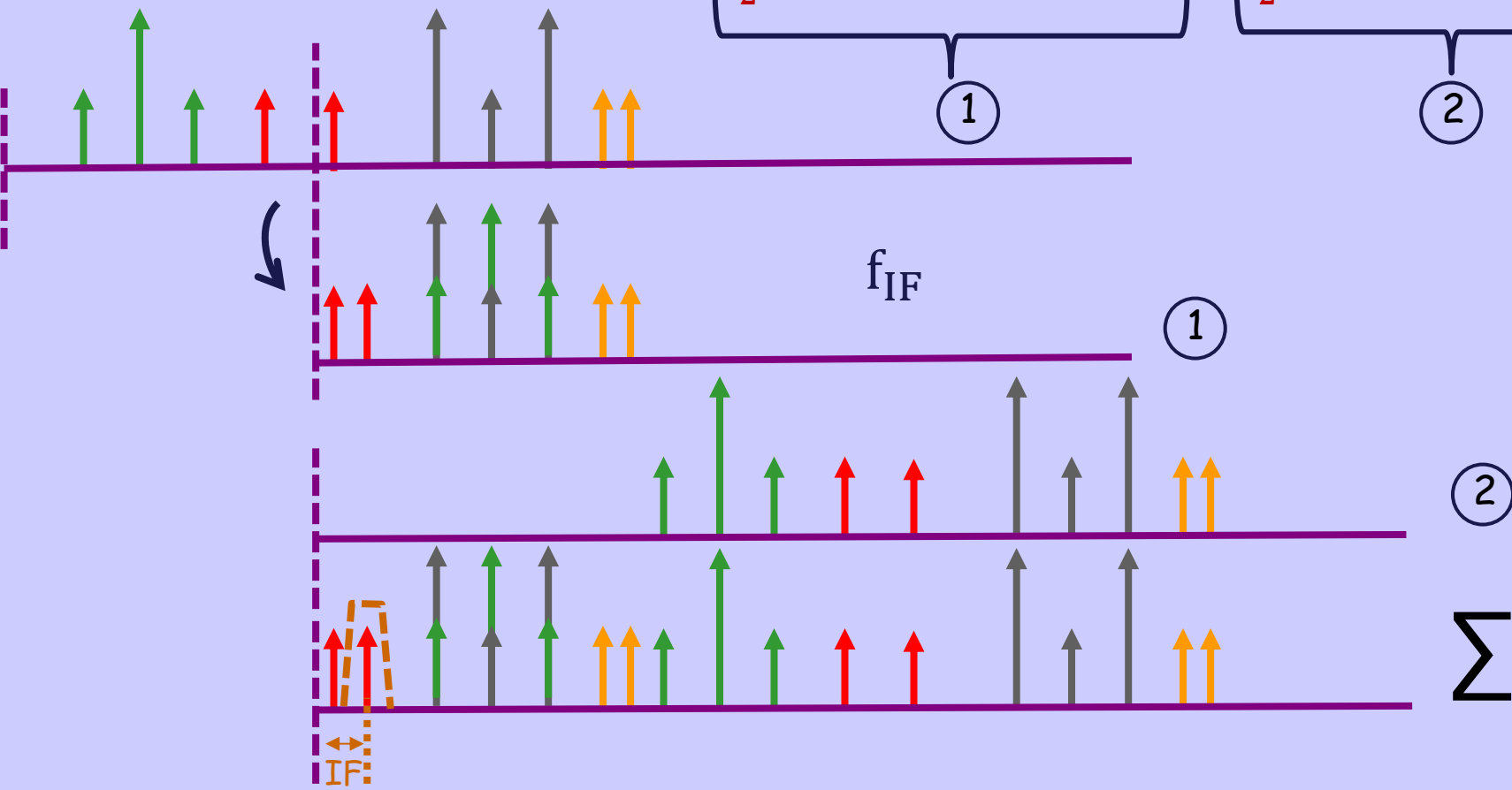
$$f_{IF} = |f_{LO} - f_{RF}| = |f_{LO} - f_{RF'}|$$

- Una vez se ha realizado la traslación en frecuencia es imposible saber si la señal detectada en IF proviene de RF o de RF' (se conocen como frecuencias imagen).

# 2.1 Receptor superheterodino



$$A_{RF} \cos w_{RF} t \cos w_{LO} t = \underbrace{\frac{A_{RF}}{2} \cos(|w_{LO} - w_{RF}|)t}_{\textcircled{1}} + \underbrace{\frac{A_{RF}}{2} \cos(w_{LO} + w_{RF})t}_{\textcircled{2}}$$

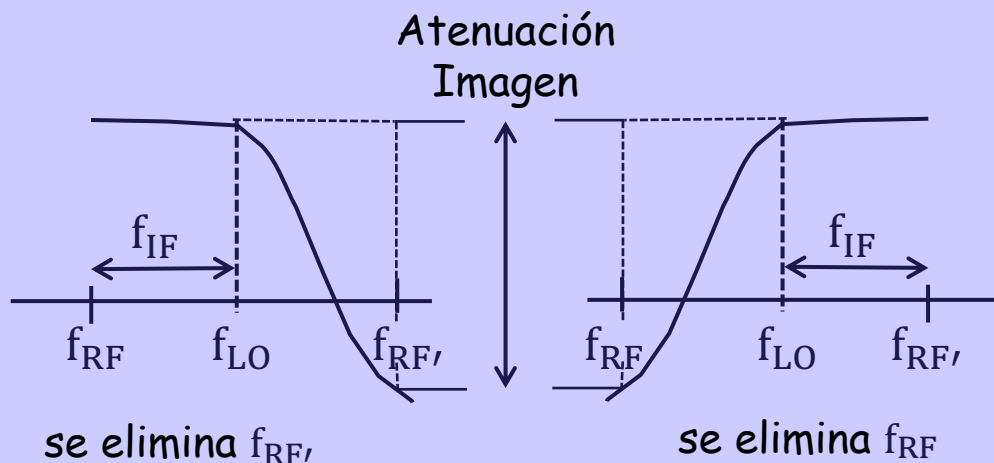


## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ Para evitar la indeterminación de la señal RF sintonizada (RF o RF') se necesita un filtro previo.



Preselector o filtro de rechazo de imagen





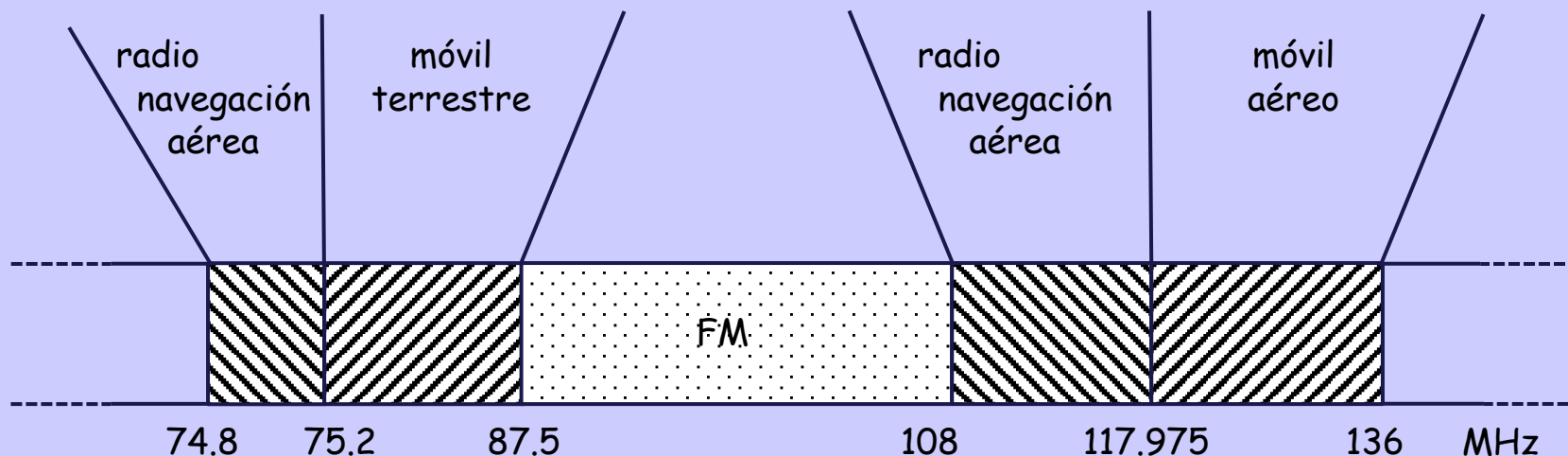
## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ La separación entre  $f_{RF}$  y su imagen  $f_{RF'}$  es  $2f_{IF}$  —————> Cuanto mayor sea  $f_{IF}$  menos abrupta deberá ser la respuesta del filtro de rechazo de imagen.
- ◆ Por otro lado cuanto menor sea  $f_{IF}$  más fácil será la implementación de la electrónica de procesado a frecuencia intermedia (amplificadores, filtros, etc.).
- ◆ Se requiere un compromiso entre ambas situaciones. En la práctica el elemento clave es el preselector (precio, prestaciones).

## 2.1 Receptor superheterodino

Ejemplo práctico → Receptor en la banda de FM

CNAF\* - UNI7, BOE 9 Agosto de 1996



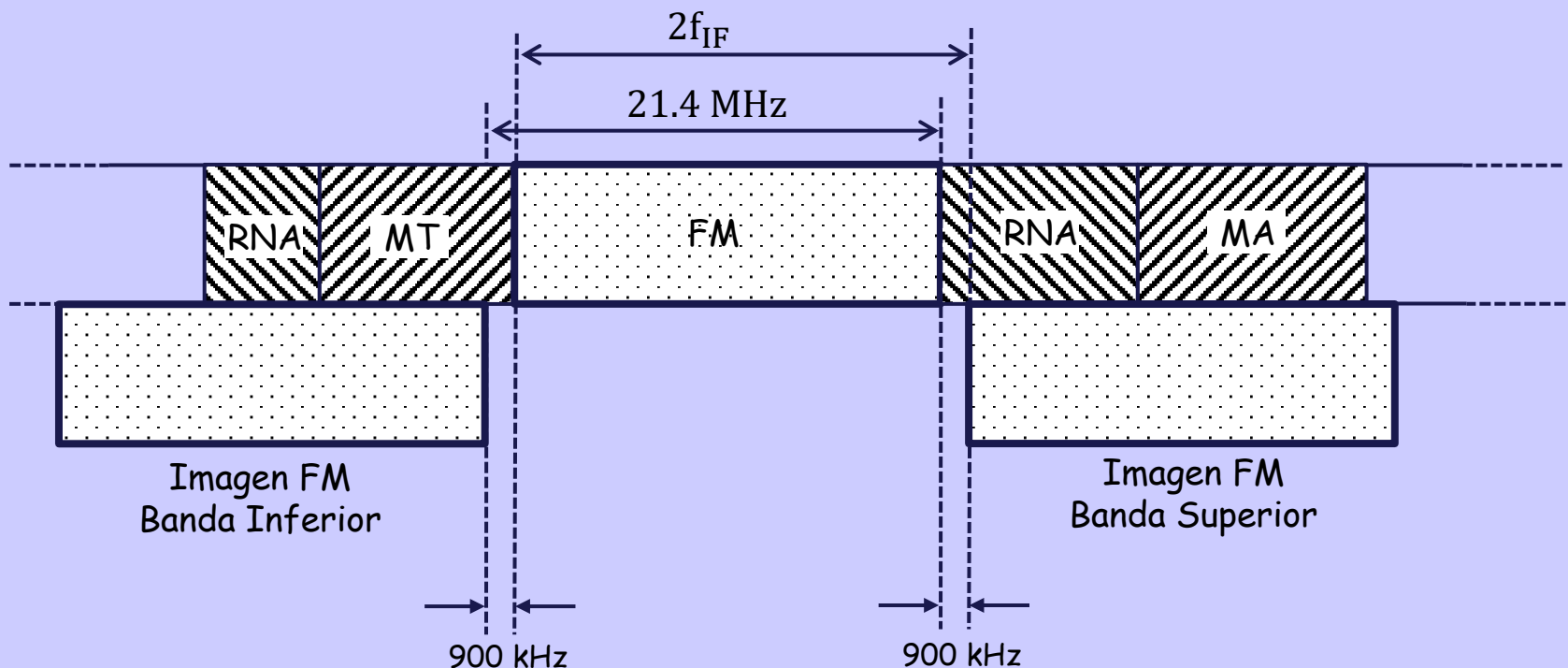
$$BW |_{FM} = (108 - 87.5) = 20.5 \text{ MHz}$$

\* Cuadro NACIONAL DE Atribución de Frecuencias

## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ Si  $2f_{IF} > BW_{FM}$  no hay ninguna emisora de FM que pueda ser imagen de otra emisora de FM.

- ◆ En la práctica se utiliza  $f_{IF} = 10.7 \text{ MHz}$



## 2.1 Receptor superheterodino

Ejemplo práctico  $\longrightarrow$  Receptor en la banda de AM

◆ Asignación frecuencias AM  $\longrightarrow$  [526.5 – 1606.5] kHz

$$BW|_{AM} = (1606.5 - 526.5) = 1080 \text{ kHz}$$

◆ Por razones históricas:

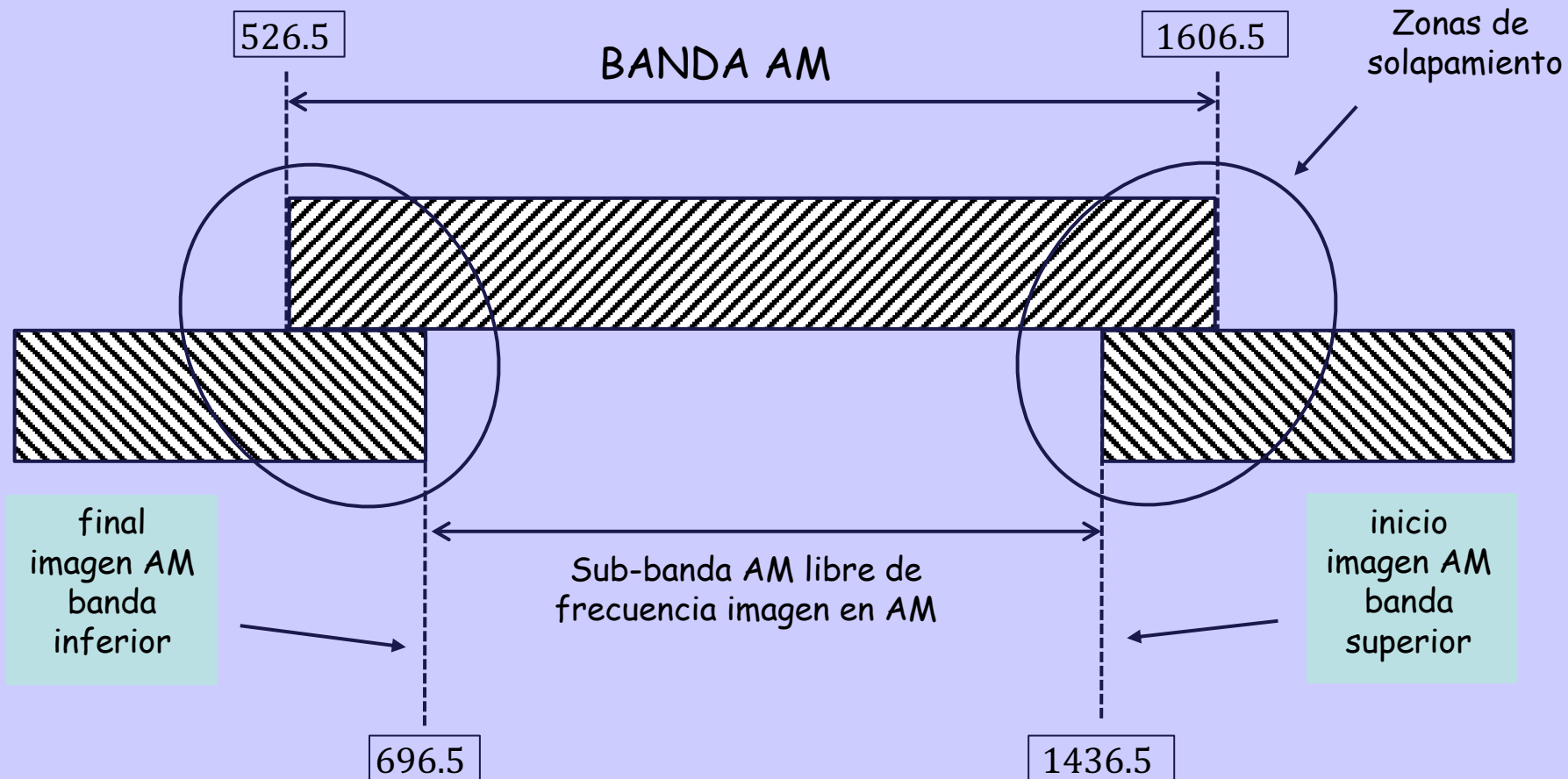
$$f_{IF}|_{AM} = 455 \text{ kHz}$$



$$2 f_{IF}|_{AM} < BW|_{AM} \quad !!!$$

◆ Habrá emisoras legítimas de AM que serán imagen de otras emisoras legítimas de AM !!

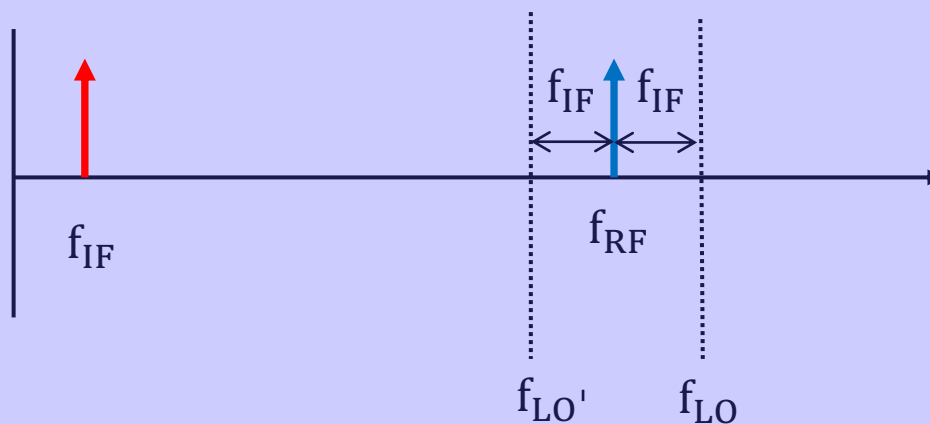
## 2.1 Receptor superheterodino



No se puede utilizar un filtro preselector fijo para la banda de AM

## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ Otro aspecto importante es la selección del rango de frecuencias del oscilador local:
  - Dada una señal RF hay dos frecuencias de oscilador local que permiten la transferencia a IF.

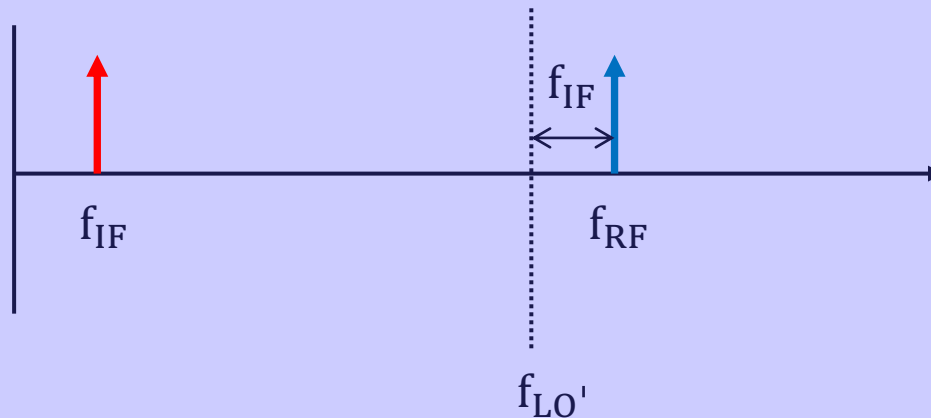


## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ Ambas opciones son válidas.
  - Si usamos  $f_{LO}$   $\longrightarrow$  inyección de local por la banda superior.
  - Si usamos  $f_{LO'}$   $\longrightarrow$  inyección de local por la banda inferior.
  
- ◆ La cuestión es ¿cuál de ellas elegimos?  
La respuesta es que depende de la aplicación.

## 2.1 Receptor superheterodino

◆ Caso: una única frecuencia de RF:

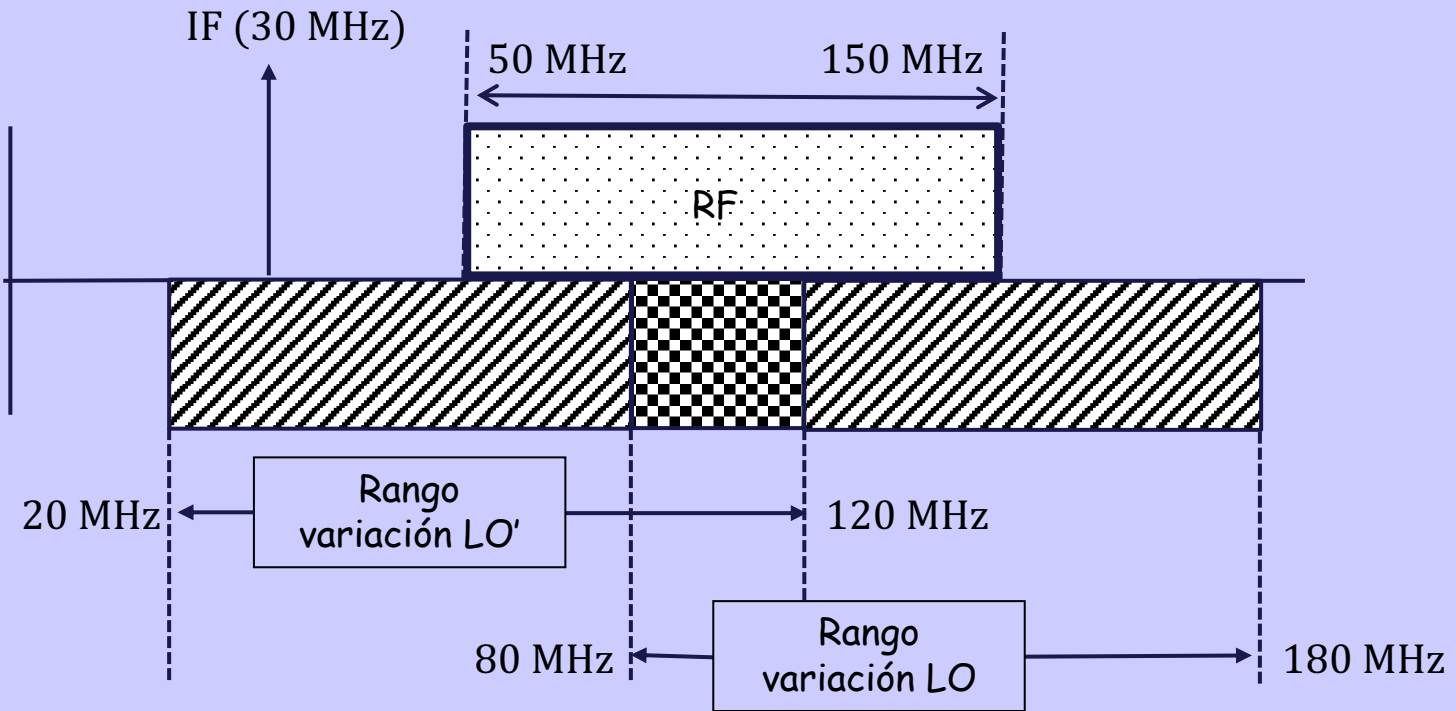


- En general es más conveniente la inyección de local por la banda inferior.
- Diseño e implementación más simples del oscilador local.



## 2.1 Receptor superheterodino

◆ Caso: una banda de frecuencias de RF:



$$f_{LO'} = f_{RF} - f_{IF} \quad ; \quad f_{LO} = f_{RF} + f_{IF}$$

## 2.1 Receptor superheterodino

- Si local se inyecta por la banda inferior

rango  $LO' = [20, 120]$  MHz →

$$\frac{f_{LO'} |_{MAX}}{f_{LO'} |_{min}} = 6$$

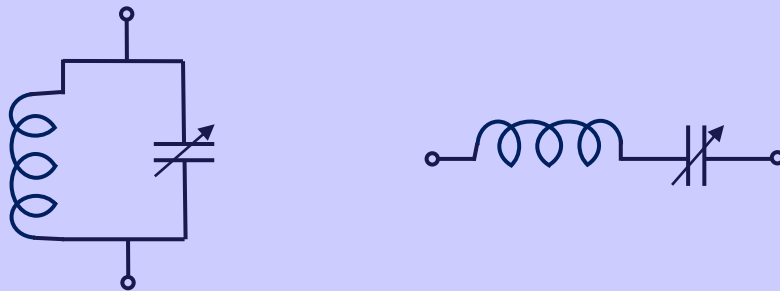
- Si local se inyecta por la banda superior

rango  $LO = [80, 180]$  MHz →

$$\frac{f_{LO} |_{MAX}}{f_{LO} |_{min}} = 2.25$$

## 2.1 Receptor superheterodino

- ◆ La frecuencia del oscilador local la suele fijar un tanque resonante LC.



- ◆ El elemento sintonizable suele ser la capacidad, que puede ser controlable electrónicamente (diodos varactores o varicaps). En ambos casos:

$$f_{LO} = \frac{1}{\sqrt{2\pi LC}}$$

## 2.1 Receptor superheterodino

- Inyección de local por la banda inferior:

$$\frac{f_{LO, \text{MAX}}}{f_{LO, \text{min}}} = 6$$



$$\frac{C_{\text{MAX}}}{C_{\text{min}}} = 36$$

- Inyección de local por la banda superior:

$$\frac{f_{LO, \text{MAX}}}{f_{LO, \text{min}}} = 2.25$$



$$\frac{C_{\text{MAX}}}{C_{\text{min}}} \approx 5$$

- ◆ Es mucho más fácil implementar una capacidad variable con un ratio MAX/min de 5, que no de 36.

Elección → Inyección banda superior

## 2.1 Receptor superheterodino

### Ejemplos de cálculo:

1º) Receptor superheterodino para  $RF = 433.92 \text{ MHz}$   $IF = 27 \text{ MHz}$

- a) Calcular frecuencia necesaria de local suponiendo inyección banda superior.
  
- a) Calcular frecuencia de corte y orden del filtro de Butterworth que actuando como preselector permite atenuar la imagen como mínimo 6 dB y que no atenúe la señal más de 1 dB.

## 2.1 Receptor superheterodino

a)  $f_{RF} = 433.92 \text{ MHz}$

Inyección de local de banda superior 

  $f_{LO} = f_{RF} + f_{IF} = (433.92 + 27) \text{ MHz} = 460.92 \text{ MHz}$

b) Ley de atenuación de Butterworth

$$P_{LR} = A(f) = 1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2N}$$

$f_c$  = frecuencia de corte del filtro

N= orden del filtro

## 2.1 Receptor superheterodino

Condiciones:

$$A(f_{\text{RF}}) \leq 1 \text{ dB} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{433.92}{f_c}\right)^{2N} \leq 0.259$$

$$f_{\text{imag}} = f_{\text{RF}} + 2f_{\text{IF}} = 487.92 \text{ MHz}$$

$$A(f_{\text{imag}}) \geq 6 \text{ dB} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{487.92}{f_c}\right)^{2N} \geq 3$$

## 2.1 Receptor superheterodino

Combinando ambas condiciones:

$$\left(\frac{487.92}{433.92}\right)^{2N} \geq 3$$



$$N \geq 10.44$$

El orden del filtro más bajo que satisface las condiciones es

$$N = 11$$

frecuencia de corte:

$$A(f_{RF}) \leq 1 \text{ dB}$$



$$f_c \geq 461.4 \text{ MHz}$$

$$A(f_{imag}) \geq 6 \text{ dB}$$



$$f_c \leq 464.15 \text{ MHz}$$

$$f_c = 463 \text{ MHz}$$



## 2.1 Receptor superheterodino

Resultados:

$$A(f_{\text{RF}}) = 1 + \left(\frac{433.92}{463}\right)^{22} = 1.24 = \boxed{0.93 \text{ dB}}$$

$$A(f_{\text{imag}}) = 1 + \left(\frac{487.92}{463}\right)^{22} = 4.16 = \boxed{6.2 \text{ dB}}$$

Conclusión:

- Una correcta eliminación de la frecuencia imagen requiere de un filtro muy selectivo, difícilmente realizable con elementos discretos.
- En la banda ISM de 433.92 MHz el preselector suele ser un filtro SAW (Surface Acoustic Wave).

## 2.1 Receptor superheterodino

Ejemplos de cálculo:

2º) Receptor superheterodino banda FM [88, 103] MHz

Preselector  $\longrightarrow$  Filtro de Butterworth  $N = 5$

Calcular  $f_c$  y  $f_{IF|_{min}}$  para que:

a) Todas las emisoras de la banda se reciban con  $A(f_{FM}) \leq 1$  dB

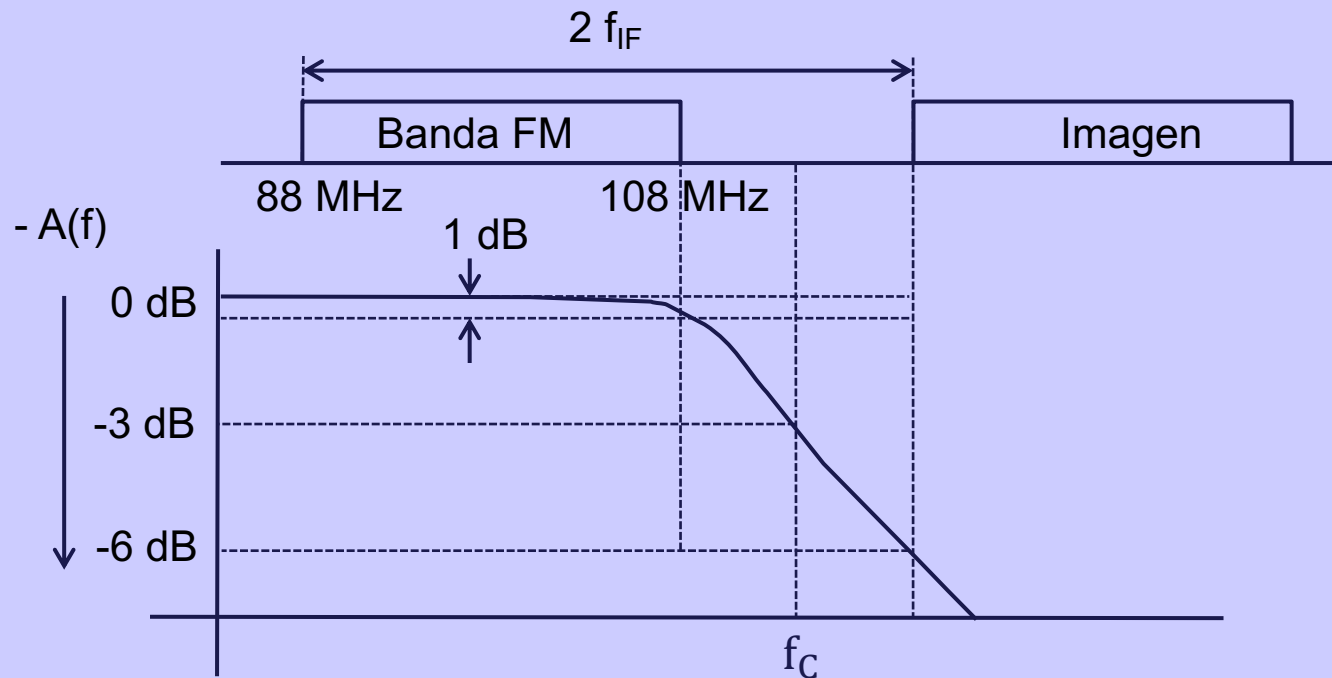
a) Cualquier imagen de la banda se atenúe como mínimo  $A(f_{imag}) \geq 6$  dB

## 2.1 Receptor superheterodino

Solució:

$$A(f_{FM}) \leq 1 \text{ dB} , N = 5$$

$$A(f) = 1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{10}$$



## 2.1 Receptor superheterodino

$$A(f_{\text{FM}})_{\text{MAX}} = A(f_{108 \text{ MHz}}) = 1 + \left(\frac{108}{f_c}\right)^{10} \leq 1 \text{ dB} \quad \rightarrow$$



$$f_c \Big|_{\text{min}} = 123.625 \text{ MHz}$$

$$A(f_{\text{Img}})_{\text{min}} = A\left(\frac{88 + 2f_{\text{IF}}}{123.625}\right)^{10} \geq 6 \text{ dB} \quad \rightarrow$$



$$f_{\text{IF}} \Big|_{\text{min}} = 25 \text{ MHz}$$

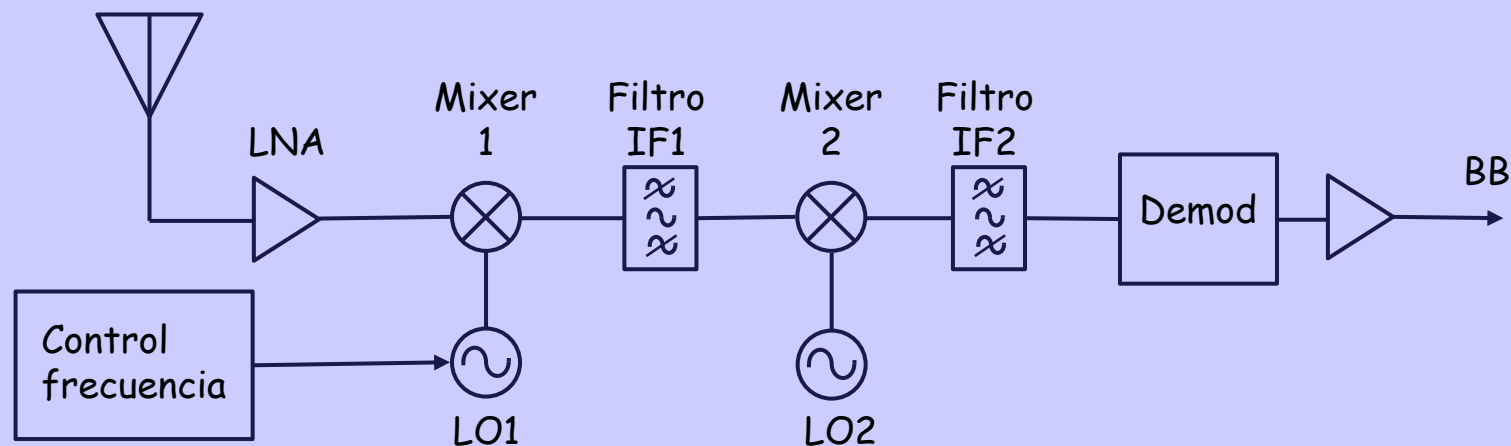
## 2.1 Receptor superheterodino

Elección de  $f_{IF}$  depende de diferentes factores:

	IF ↓	IF ↑
ventajas	<ul style="list-style-type: none"><li>- Procesado IF más simple</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Preselector de prestaciones medias</li><li>- Rango de sintonización LO menor</li></ul>
inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"><li>- Preselector de altas prestaciones para asegurar atenuación <math>I_{mg}</math>.</li><li>- Rango de sintonización LO mayor</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Procesado IF más complicado</li></ul>

## 2.2 Receptor superheterodino de conversión múltiple

El dilema de la elección de IF se puede solucionar con la conversión múltiple



Receptor superheterodino de conversión doble

No es habitual hacer más de 3 conversiones